

光触媒材料、太陽電池



光の力で原子スケールの構造を可視化

工学研究科 物理	学系専攻	
教授 菅原 康子	Kesearchmap	https://researchmap.jp/read0082006
基礎工学研究科	物質創成専攻	
教授石原一	Researchmap	https://researchmap.jp/nonlocal

ナノテクノロジー・材料



研究の概要

半導体や金属のナノ粒子は、光触媒、太陽電池などに用いる光機能 材料として注目されている。光を用いる走査型顕微鏡(走査型近接場 光学顕微鏡)を用いれば、このような試料の光学特性を反映した画像 を取得できるが、これまで原子スケールの分解能での観察は実現され ていなかった。

研究チームは、光照射により発生する力(光圧)を計る顕微鏡(光 誘起力顕微鏡)を用いて、高性能な光触媒材料として設計された複合 ナノ粒子の近接場光を1ナノメートル以下の分解能で画像化することに 世界で初めて成功した(図1~2)。超高真空中での観測を実現し、かつ 光照射による熱の影響を除去する独自の工夫を加えたことが高分解能 観察の鍵となっている。複合ナノ粒子を複数の波長の光を用いて観測し、 複合ナノ粒子が設計通りの化学的性質を持つことを原子分解能に迫る 光圧画像で確認し、光圧の3次元ベクトル像を取得することにも成功し た(図3)。機能性ナノ材料の設計・評価のための新しい基盤技術とし て期待される成果である。

研究の背景と結果

近年、電子を閉じ込めた半導体や金属のナノ粒子が様々に合成され、 光触媒、太陽電池などに用いる新しい光機能材料として注目されている。 個々のナノ材料の光機能をミクロな成り立ちから評価するためには試 料を光励起し、原子スケールで試料近傍の近接場光を観測する必要が ある。これまで近接場光を観測する顕微鏡としては走査型近接場顕微 鏡があるが、原子スケールの分解能を得ることは不可能であった。

近年、原子間力顕微鏡技術に基づき、試料表面の光学的性質を高い 空間分解能で画像化する新たな顕微鏡(光誘起力顕微鏡)が開発され ている。この顕微鏡では、原子間力顕微鏡の金属探針と試料表面に光 を照射し、金属探針に誘起される双極子と試料表面に誘起される双極 子との間の双極子・双極子相互作用を力として検出する。今回、研究チー ムは、光誘起力顕微鏡を超高真空中で作動させることにより力の検出 感度を飛躍的に高めることと、光照射を繰り返すタイミングに独自の 工夫を凝らして発熱の影響を極限まで低減させることにより、桁違い の高分解能を実現することに成功した。

この高性能な光誘起力顕微鏡で高性能光触媒材料として合成された ダンベル型の半導体量子ドットを波長の光を用いて観測し、そのデー タを理論解析した。その結果、光触媒機能を高めるために工夫された 化学的性質を反映した1nm以下の空間分解能で近接場光像が得られて いることが分かった。また、プローブ先端のミクロな突起が今回の原 子スケールの分解能に寄与していることが解析により明らかとなった。 さらに、半導体量子ドットに作用する光圧の3次元ベクトル像を取得す ることにも成功した。これらは、機能性ナノ材料の設計・評価のため の新しい基盤技術として期待される成果である。今後、さらに、低温 環境を利用することにより、超高感度な力検出が実現され、これまで 誰も成しえなかった単一分子内部の光学応答の可視化も可能になると 期待される。

研究の意義と将来展望

本技術を用いれば、ナノ構造の近接場光を原子分解能で観測するこ とができるため、新しいナノ材料合成のための設計・評価が格段に高 度化する。このため本技術は今後、画期的な光触媒材料や太陽電池材 料を実現するための新しい基盤技術になると期待される。



図1 (a) 光照射された走査型顕微鏡のプローブ先端と試料の間に働く力(光圧) を読み取る光誘起力顕微鏡の模式図。(b)(c) 二種の光波長(600nm,520nm)で得 られた光誘起力顕微鏡像。(d) 光誘起力像の断面図。光触媒として設計された電子 エネルギー構造が反映されている。



図2 (a) 試料の原子間力顕微鏡像(拡大図)。(b) 試料の光誘起力顕微鏡像(拡大図)。(c) 光誘起力顕微鏡像の断面図。1nm を切る分解能が得られていることが分かる。



図3 (a) 光圧の3次元ベクトル計測の模式図。(b)計測による光圧の3次元ベクトル。 カラーの矢印で面内の力の大きさと方向を表す。白黒の濃淡は高さ方向の力の大 きさを表す。(c) 光圧の3次元ベクトル理論計算図。実験で得られた画像の傾向が よく説明できている。

論	文	Yaı tior
参考し	JRL	htt
キーワ	- K	光調

开关

Yamanishi, Junsuke; Ishihara, Hajime; Sugawara, Yasuhiro et al. Optical force mapping at the single-nanometre scale. Nature communications. 2021 Jun 23; 12(1): 3865. doi: 10.1038/s41467-021-24136-2
IRL https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2021/20210623_2